doi:10.13866/j.azr.2019.03.26

基于生态服务价值机会成本的沙漠电灌工程生态补偿研究

——以景电高扬程电力提灌工程为例①

赵建林[1]， 董志洋[1]， 常兆丰[2]

(1. 甘肃省景泰川电力提灌管理局,甘肃 景泰 730499; 2. 甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070)

摘 要: 以景电高扬程提灌工程为例,以因子当量计算了灌区对祁连山生态移民的生态服务价值,用余弦距离公式计算了灌区对消减下风向地区沙尘暴的生态服务价值,并计算了其机会成本,进而探讨了沙漠电力提灌工程的生态补偿问题。结果表明:① 景电灌区生态移民对祁连山植被恢复的生态服务价值为 4.01×10^9 元,灌区绿洲对消减灌区下风向沙尘暴的生态服务价值为 7.09×10^7 元。祁连山生态移民的机会成本和灌区下风向防风固沙的机会成本分别为 2.05×10^8 元和 3.63×10^6 元。② 景电灌区生态移民对祁连山植被恢复的受益主体是石羊河流域各县市和祁连山东端黄河流域的景泰县,国家也是受益主体之一;受偿主体是甘肃省和甘肃省景泰川电力提灌管理局。③ 防治沙漠化及沙尘暴和保护国家生态公益林是我国生态环境建设的重点,生态补偿有利于带动和促进相同或类似的生态公益事业发展,有力推进国家生态环境建设。

关键词: 沙漠电力提灌工程; 生态服务价值; 生态移民; 防风固沙; 生态补偿; 景泰县; 甘肃

生态补偿制度是以保护和可持续利用生态系统服务为目的、以经济手段为主调节相关者利益关系的制度安排[1-2]。美国、澳大利亚等国家的生态补偿较早[3]。最有代表性的是由世界银行发起、在哥斯达黎加、哥伦比亚、厄瓜多尔、墨西哥等拉丁美洲国家开展的环境服务支付项目,该项目的目标是改善流域水环境服务功能[4]。日本和美国也在部分流域实施了具有生态补偿性质的流域管理计划[5]。加拿大联邦政府在"永久性草原覆盖恢复计划"中,由农业部向土地所有者提供管理费用并补偿其损失。美国的保护与储备计划、环境质量激励项目以及欧盟的农业环境保护项目都采取了补偿措施[6]。由于森林对提供各种生态服务最为有效,生态补偿措施在林业中也广为采用。爱尔兰为鼓励私人造林采取了两种政策激励措施,即造林补贴和林业奖励[7]。哥斯达黎加对造林、可持续的林业开采、天然林保护等提供补偿,并规定对大型建设项目导致的生态损失进行生态补偿,然而,大多数国家的补偿机制重点放在一般意义上的生态补偿,而忽视了未受保护的土地[8]。德国的生态补偿实践不仅历史悠久、可操作性强,且考虑了对土地的生态补偿[8]。国外的大多数此类生态补偿项目主要通过增加流域内的森林覆盖率改善水质和水文条件,因此补偿费主要向用水者征收,其他生态服务的受益者很少被考虑[9]。

我国的生态补偿制度始于20世纪90年代[3],目前还处在试点和探索阶段。我国于2001年设立了"森林生态效益补偿基金"[9]。国际经济合作与发展组织(OECD)提出的原则是"谁保护,谁受偿;谁受益,谁补偿"。国家发改委《生态补偿条例》(草案)规定的原则是"谁开发、谁保护,谁破坏、谁恢复,谁受益、谁补偿,谁污染、谁付费"[10]。国内外生态补偿主要涉及流域水环境管理、农业环境保护、植树造林、自然环境生态的保护与恢复、碳循环、景观保护等[9]。生态效益或者生态受损的外部性问题是导致生态补偿的根本原因[11],这一原则已经被相关部门和学者广泛接受。生态补偿是一种受益者或破坏者付费的环境经济手段,其理论基础是生态系

① 收稿日期: 2018-08-17; 修订日期: 2018-11-10
基金项目: 甘肃省重点研发计划"景电高扬程提灌工程生态功能价值及其补偿机制研究(18YF1FA028)";国家自然科学基金"积沙带的动态平衡及其与环境因子的关系(41661064)"项目资助
作者简介: 赵建林(1961-),硕士,副研究员,研究方向为水土保持与林业生态. E-mail: zjl610506@sina.com

统服务价值[12],生态服务价值是生态补偿基本的核算标准[13-15]。在生态服务价值的基础上,派生出了其他一些计算标准和计算方法,如机会成本、影子价格、水资源市场价格、条件价值、恢复费用法、讨价还价法[14,16-17]、生态足迹法[18]、博弈法[19-20]和SWAT模型[21]以及狭义生态补偿标准与广义生态补偿标准的物质量评价模型和价值量评价模型[22]等。我国的土地、河流属国家所有,其次,由于生态补偿一般发生在不同行政区域、流域上下游之间,决定了政府在生态补偿中的主导地位,政府主导有效地解决了跨流域调水涉及面广、所涉利益复杂、补偿方式多样化的问题。然而目前我国政府主导的跨流域生态补偿也存在着法律不完善、补偿资金规模小、补偿方式单一等一系列的问题,因此需要在政府主导的原则下结合市场调节和公众参与方式,多方面拓宽生态补偿资金的来源,构建完善我国生态补偿的法律制度[23]。流域上下游是典型的利益关系模式。程滨等[24]将我国流域生态补偿标准实践归结为3种模式:基于流域跨界监测断面水质目标考核的生态补偿标准模式、基于流域跨界监测断面超标污染物通量计量的生态补偿标准模式以及基于提供生态环境服务效益的投入成本测算的生态补偿标准模式,通过分析3种模式的特征,提出了为将来推进我国流域生态补偿标准实践开展深入探索的政策建议。

综上所述,截至目前国内已有关于水资源管理[1-3,5]和河流调水生态补偿的研究报道[23,25-26],也有关于天然草原保护生态补偿[15]和水土保持生态补偿[27]的研究报道,但却没有关于防沙治沙和防治沙尘暴的生态补偿的研究报道。至2013年,黄河上的引水工程有4 500处,其中,黄河提灌工程2 300余处,有效灌溉面积达5.70×10^6 hm^2[28],在我国经济发展和生态环境建设中占有极其重要地位。然而,这些电力提灌工程均不同程度处于负债营运状态[29-31]。那么,能不能通过生态补偿、怎么通过生态补偿解决这一问题,有效推进我国电力提灌事业发展呢?这是其一。其二,防风固沙生态补偿的受益范围如何界定,如何确定包括国家、当地政府、单位法人和农户等多种利益相关者之间的利益关系,通过生态补偿,充分发挥电力提灌工程的各种生态服务功能呢?甘肃省景泰川电力提灌管理工程灌区位于腾格里沙漠南缘,跨3省2个流域,外部生态服务价值包括祁连山生态移民和灌区绿洲对消减下风向防风固沙。因此,本文以甘肃省景泰川高扬程电力提灌工程为例做一探讨,以资讨论。

1 研究方法

1.1 研究区概况

甘肃省景泰川电力提灌工程灌区(以下简称景电灌区),位于腾格里沙漠南缘,祁连山东段北侧,东临黄河,东北部为甘肃、宁夏和内蒙古3省区交汇地带。灌区横跨甘肃和内蒙古2省区,分属甘肃省白银市的景泰县、武威市的古浪县、民勤县和内蒙古的阿拉善左旗4县旗(图1)。

景泰灌区、古浪灌区和阿左旗灌区总面积约6.40×10^4 hm^2,民勤灌区为补给性灌区。2017年景电供水点景泰、古浪、民勤和阿左旗4县旗农田系统总用水量比例分别为79.44%、56.60%、39.09%和5.60%。灌区移民主要来自祁连山东段的古浪、天祝和景泰3县山区,灌区绿洲下风向与甘肃的白银市、兰州市和宁夏的中卫市以及内蒙古阿拉善左旗相邻。

1.2 生态服务价值计算方法

首先将生态服务价值划分为内部价值和外部价

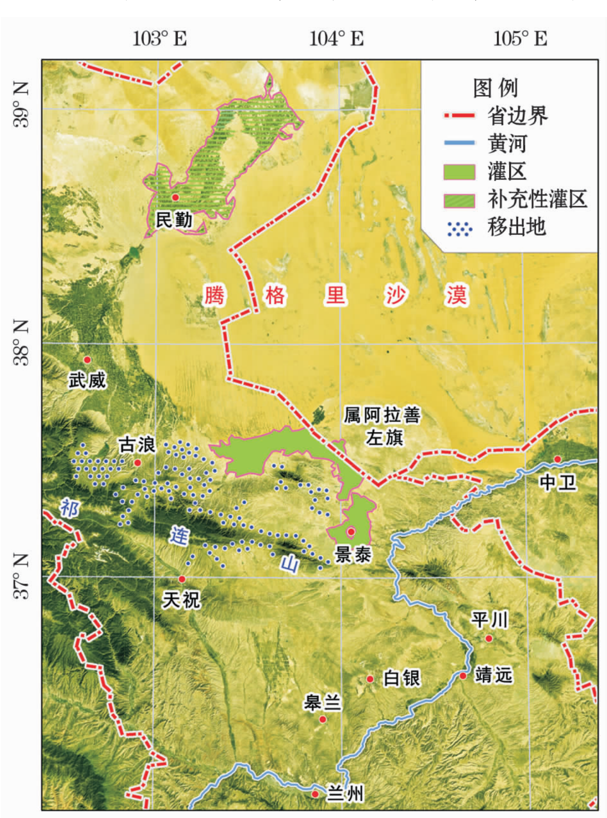


图1 研究区位置

Fig. 1 Geographical location of the study area

值。内部价值包括灌区农田系统、农田外围防护林系统和灌区湿地水域 3 个功能系统的生态服务价值。外部价值包括灌区移民对祁连山移民植被恢复的生态服务价值和灌区绿洲对消减下风向沙尘暴的生态服务价值。

灌区内农田、乔木林、灌木林草、水体和湿地分别按照表 1 中的农田、森林、草地和水体计算,灌区外部即祁连山退耕退牧还林还草形成的乔木按森林的因子当量计算,灌木按草地的因子当量计算[32]。灌区对消减下风向区域沙尘暴的生态服务价值以灌区绿洲防风固沙生态服务价值因子当量为基础,以灌区绿洲下风地区到灌区的距离和偏离主风向的角度为参数,用式(1)计算。资料年份均为 2016 年。

$$V_j = a_j \times 1.077 \times \frac{\sqrt{a_0}}{d} \times \cos(\alpha) \qquad (1)$$

式中:V_j 为灌区对消减下风向 j 地区沙尘暴的生态服务价值,a_j 为 j 地区的面积(km^2);a_0 为除民勤灌区外(腾格里沙漠南缘较集中)的景电灌区面积(km^2);d 为下风向 j 地区中心到 a_0 灌区中心的距离(km);α 为下风向 j 地区偏离 NW 方向的角度;1.077为表 1 中 a_0 面积内农田、森林、草地、水体和湿地的防风固沙、气体调节、气候调节 3 因子当量按面积计算的加权平均值。

表 1　景电灌区生态系统的生态服务价值因子当量

Tab. 1　Factor equivalences of ecosystem service values in the Jingtai Irrigated Area

	气体调节	气候调节	水源涵养	防风固沙	废物处理	生物多样性	食物生产	原材料	娱乐文化	合计
农田	0.50	0.89	0.60	1.46	1.64	0.71	1	0.10	0.01	6.91
森林	3.5	2.7	3.2	3.9	1.31	3.26	0.1	2.6	1.28	21.85
草地	0.8	0.9	0.8	1.95	1.31	1.09	0.3	0.05	0.04	7.24
水体	0	0.46	20.38	0.01	18.18	2.49	0.1	0.01	4.34	45.97
湿地	1.8	17.1	15.5	1.71	18.18	2.5	0.3	0.07	5.55	62.71

1.3　生态补偿计算方法

生态补偿标准按外部生态服务价值的机会成本为依据,对于同一项目所产生的不同生态服务项目生态补偿按其生态服务价值大小的比例计算。机会成本计算公式为:

$$A = P \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (2)$$

式中:A 为年平均机会成本;P 为过去某年投入的资金;n 为计息年数;i 为年平均投资利润率。

2　结果与分析

2.1　灌区内部生态服务价值

景电工程的内部效益系统包括农田系统、农田外围防护林系统和灌区湿地水域 3 个功能系统[33]。按表 1 的因子当量法计算的景电灌区内部生态服务价值为 3.63×10^9 元。其中,农田系统的生态服务价值为 2.01×10^8 元,农田外围防护林系统的生态服务价值为 1.07×10^9 元,湿地水域系统的生态服务价值为 5.44×10^8 元(表 2)。

表 2　景电灌区内部生态服务价值

Tab. 2　Internal ecosystem service values in the Jingtai Irrigated Area

	生态服务价值				
	景泰灌区 /10^8 元	古浪灌区 /10^8 元	阿左旗灌区 /10^6 元	民勤灌区 /10^8 元	合 计 /10^8 元
农田	7.15	3.14	1.46	9.84	**20.15**
外围防护林	1.17	3.39	0.88	6.16	**10.73**
湿地、水域	5.35	0.09	0	0	**5.44**
小计	13.67	6.62	2.34	16.00	**36.31**

2.2　灌区外部生态服务价值

2.2.1　祁连山植被盖度增加的生态服务价值　景电工程兴建以来,先后从景泰、古浪、天祝 3 县以及永靖、会宁、东乡等县进行了移民,仅从祁连山区移民 2.80×10^5 人,退耕 1.39×10^5 hm^2,退牧 6.64×10^5 只(羊单位),退出草场面积 4.34×10^5 hm^2。通过退耕还林形成乔木林 812 hm^2,灌木 1.51×10^4 hm^2,灌木草本合计 1.38×10^5 hm^2。原有草场退牧后植被盖度平均增加 11.5%。

按谢高地等[32]的因子当量法计算的景电灌区移民退耕退牧对祁连山的生态服务价值为4.00×10^9 元,其中,还耕还林还草产生的生态服务价值 2.65×10^9 元,退牧后植被盖度增加产生的生态服务价值为 1.36×10^9 元(表 3)。

2.2.2　消减灌区下风向沙尘暴的生态服务价值　沙尘暴的沙尘向下风向的漂浮距离一般为 100 ~

表 3 截至 2016 年底景电灌区移民祁连山植被恢复的生态服务价值

Tab. 3 Ecosystem service values of vegetation increased by emigration from the Qilian Mountains to the Jingdian Irrigated Area up to the end of 2016

	移出地									移入地
	移民		退牧	增加植被				盖度增加（原有植被）		
				乔木		灌木				
	移民 /10^4 人	退耕 /10^4 hm^2	羊单位 /10^4 只	面积 /hm^2	生态价值 /10^7 元	面积 /10^4 hm^2	生态价值 /10^9 元	面积 /10^4 hm^2	生态价值 /10^8 元	
景泰县	12.63	6.32	29.05	435	3.13	6.27	1.14	19.37	5.93	景泰灌区
古浪县	15.23	7.61	35.02	377	2.85	7.58	1.45	23.35	7.52	古浪灌区
天祝县	0.10		2.31					0.67	0.14	
合计	**27.96**	**13.93**	**66.38**	**812**	**5.98**	**13.85**	**2.59**	**43.39**	**13.59**	

200 km，而浮尘的漂浮距离可达 1 000 km 以上[34]。在此笔者只考虑下风向相邻县市。其中，宁夏的中卫市和内蒙古的阿拉善左旗在景泰灌区下风向（NW）偏北，故从景泰县漫水滩乡算起，景泰县城在景泰灌区的东南角，因此其他从景泰县城算起。阿拉善左旗只有最南端 3 个乡镇约 110 km^2 的农牧区和矿区。

用式（1）计算得景电灌区对消减下风向相邻区域沙尘暴的生态服务价值为 7.09×10^7 元（表 4）。

表 4 景电灌区对消减下风向（NW）地区沙尘暴的生态服务价值

Tab. 4 Ecosystem service values by reducing sandstorm in leeward area of the Jingdian Irrigated Area

市县		距离 /km	方位角 /（°）	余弦 /km	面积 /km^2	生态价值 /10^4 元
白银市	白银区	72.4	172.9	57.1	1 372.0	456.3
	靖远县	88.5	141.5	87.9	5 809.4	1 989.6
	平川区	84.3	127.4	81.9	2 106.0	740.3
兰州市	皋兰县	95.9	186.2	60.1	2 556.0	509.7
	西固区	128.5	197.7	59.0	385.0	42.0
	安宁区	124.5	194.4	63.4	82.3	10.3
	七里河区	127.3	191.3	70.7	397.5	52.9
	城关区	127.9	189.1	75.0	220.0	30.8
内蒙古阿拉善左旗		19.5	105.5	17.0	110.0	149.8
宁夏中卫市		99.6	88.5	68.6	14 755.0	3 112.1
合 计					**27 793.2**	**7 093.7**

2.3 生态补偿方案

2.3.1 景电工程外部生态服务价值的机会成本 假定景电各期工程按第一年投资计算，即一期工程：1969 年 10 月投资 6.61×10^7 元；二期工程：1976 年 10 月投资 4.44×10^7 元，1984 年 7 月投资 4.44×10^8 元（因资金问题停止，1984 年 7 月重新启动）；民调（向民勤调水）工程：1999 年 10 月投资 3.02×10^8 元。再假定年利率平均 10%，每年等额还本付息折算到 2017 年还清，用式（2）计息得每年还本付息 9.43×10^7 元（表 5）。省财政每年电价补贴、公益性养护费、水利补贴等约 4.95×10^7 元。按 2014—2016 年景电年负债 6.48×10^7 元（平均单方水负债 0.12 元）。3 项合计，年机会成本 2.09×10^8 元，按生态服务价值的比例分摊，祁连山生态移民的机会成本和灌区下风向防风固沙的机会成本分别为 2.05×10^8 元和 3.63×10^6 元。

2.3.2 景电灌区生态服务价值的受益主体 从祁连山生态移民到景电灌区的移出区位于祁连山东段，属于石羊河上游，从祁连山生态移民到景电灌区退耕还林还草产生的生态服务价值的受益方为石羊河流域内武威市的天祝县、古浪县、凉州区和民勤县，金昌市的金川区和永昌县及祁连山东端黄河流域的景泰县。

景电灌区绿洲对消减下风向（NW）沙尘暴的生态服务价值的受益方有白银市的白银区和靖远县、兰州市的西固区、七里河区、安宁区、城关区、皋兰县和宁夏中卫市以及内蒙古阿拉善左旗南部区域。

祁连山位于青海省东北部与甘肃省西部边境，

表 5 景电工程历年的专项投资情况

Tab. 5 Annual dedicated investments of the Jingdian Project in different years

投资年份	投入金额 /10^8 元	计息年数 /a	年平均机会成本/10^8 元
1969	0.66	48	0.07
1976	0.44	41	0.05
1984	4.44	33	0.46
1999	3.02	18	0.37
合 计			**0.95**

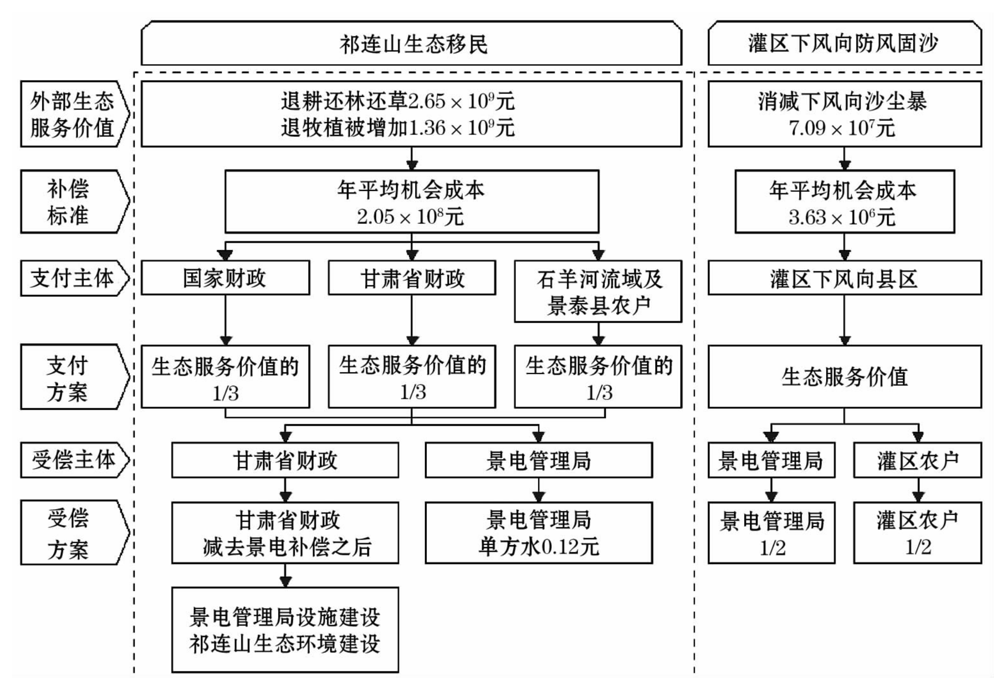


图 2　景电工程生态补偿方案示意图

Fig. 2　Ecological compensation scheme of the Jingdian Project

地处青藏、蒙新和黄土高原交汇地带。祁连山是黄河流域重要水源产流地,被称为是伸进西北干旱区的一座湿岛,祁连山发育着冰川,养育着河西走廊,保护着古丝绸之路,1980 年国务院确定祁连山水源涵养林为国家重点水源涵养林区。祁连山是国家“一带一路”建设的重要屏障,占有重要的政治、经济地位。中国的沙漠分布在西北及北方,但沙尘暴和浮尘漂浮危害的范围却是大半个中国。我国是联合国《防治荒漠化公约》的缔约国之一,环境保护是我国基本国策,沙漠化和沙尘暴是全球性环境问题。因此,国家也是景电灌区对祁连山的生态服务和消减下风向沙尘暴的生态服务的受益主体之一。

2.3.3　景电灌区生态服务价值的受偿主体　从祁连山生态移民到景电灌区退耕还林还草产生的生态服务价值和景电灌区绿洲对消减下风沙尘暴的生态服务价值的直接提供方均为甘肃省景泰川电力提灌管理局,而景泰川电力提灌管理局又属省财政拨款的事业单位,其中大部分资金来源于省财政拨款,另一小部分资金来源于单位自筹资金,按单方水计算,2014—2016 年平均负债为 0.12 元 · m^{-3},年负债 6.48×10^{7} 元。因而景电灌区生态服务价值的提供方为甘肃省和甘肃省景泰川电力提灌管理局。

2.3.4　生态补偿方案选择　祁连山生态移民的生态补偿费按照国家、地方和农户各 1/3 即每年 6.83×10^{7} 元支付,共计 2.05×10^{8} 元(其中,国家财政支付的应逐年减除前面已经发生的国家财政拨款)。灌区下风向防风固沙的生态补偿费每年 3.63×10^{6} 元,由灌区下风向县区农户支付。

甘肃省财政每年获得总的生态补偿费 2.08×10^{8} 元。其中,甘肃省泰川电力提灌管理局每年获得补偿按单方水 0.12 元计算(图 2)。

3　讨论

(1) 政府主导型生态补偿更适合中国国情。这是因为:我国的土地、河流水资源、森林资源等生态资源属国有资源,国家是受益主体之一。国务院批准的《全国防沙治沙规划(2011—2020 年》指出,防沙治沙是一项重要的生态工程,事关国家安全。国家也是受益主体之一。其次,生态补偿问题往往较为复杂,有时涉及多个行政区域或不同的流域,如景电灌区的生态补偿问题涉及国家、行政区域、法人单位和农户等,需要上一级政府的协调;其三,较大范围的生态环境问题,往往涉及国家的中、长期发展规划,需要上级政府甚至国家参与并主导。Hanley 等[35]通过对多个国家的调查发现,对受损者补偿在一些地区已付诸实践,而各受益者征收费用却很少被采用。许多国家和地区已采取了生态补偿措施,但在实施过程中常常是政府买单而不是受益

者[4,36-37]。这从一个侧面反映出国家是生态环境保护的主体,从另一个方面也反映出这是在较大范围的资源再分配,需要国家出面协调。

(2)外部生态服务价值是生态补偿的依据和计算标准,这是国内外生态补偿研究的主要依据和基本结论[12-14],也是最正确的选择。生态补偿问题包括对受损的补偿和对提供生态服务的补偿两个方面。从现有的调查研究结果看,对受损的补偿一般比较容易,而对提供生态服务的补偿执行难度较大[9,35]。支付意愿法一般难以得到较为合理的结果,尤其是对"谁受益,谁补偿"的问题。而在生态服务价值的机会成本的基础上,再适当考虑受益地区的资源环境条件、农户的承受能力,并与国家的扶贫政策相结合,则是一条较为可行的途径。

(3)国内外尚没有关于防风固沙林生态服务价值的研究报道,更没有防治防护林对消减沙尘暴的生态补偿问题的研究报道。本文运用已有的研究[12,32]成果,采用式(1)计算了景电灌区绿洲对消减下风向地区沙尘暴和浮尘的生态服务价值。在计算灌区对消减下风向沙尘暴的生态服务价值时,本文未扣除灌区以前的农田、森林、草地等,这是因为,其一,灌区绝大部分是引水后在沙漠荒滩上新开发的;其二,沙尘暴的漂浮距离可达100~200 km,浮尘的漂浮距离可达1 000 km以上[34],而本文只计算了对消减灌区下风向150 km以内县区沙尘暴的生态服务价值(表4),这显然是不全面的,应当如何确定防风固沙生态服务价值的受益边界,这还有待进一步探索。另外,本文式(1)中假定上风向防护林为正方形,如果以圆形计算,则可将式(1)中的$\sqrt{a_0}$替换为圆面积的直径即可。

(4)一方面,黄河上游地区是产流区,承担着保护上游水源区生态环境的任务。另一方面,黄河上游提灌会减少供给下游地区的水量。从保护的角度讲,下游地区应当为上游地区提供补偿,而从截流提灌的角度讲,上游提灌地区应当为下游地区提供补偿。而且,前面讨论已经述及,祁连山是我国重点水源涵养林区。防沙治沙关系国家生态安全,国家是受益主体之一。黄河上下游地区的生态补偿是一个较为复杂的问题,有待今后进一步探讨,因而,本文暂未考虑黄河提灌对下游地区的生态补偿问题。

(5)据2017年11月20日《甘肃日报》报道,景电灌区先后共安置甘肃和内蒙古两省区景泰、古浪、阿拉善左旗等7县移民4.0×10^5人,新建10个乡镇、178所学校。据工程上水前后的气象资料对比,年平均降水量由185 mm增加到目前的201.6 mm,相对湿度由46%增加到47%,平均风速由3.5 m·s^{-1}降低到2.4 m·s^{-1},8级以上大风天数由29 d减为16.7 d,年蒸发量由3 390 mm降低到2 361 mm,灌区小气候得到明显改善[38]。然而,一方面,由于景电工程位于腾格里沙漠南部边缘,沙漠下风向,风沙活动强烈,河水含沙量高,对设备磨损严重;另一方面,灌溉渠道经常会淤积流沙,清理淤沙工作量很大;第三方面,景电工程从1969年10月开始动工修建已有近50 a的历史,设备陈旧老化,人工费、维修费和电力价格上涨等因素,景电工程连续多年负债营运。景电提灌工程的外部效益十分显著,是理所当然的受偿主体之一。

4 结论

生态补偿应以外部生态服务价值的机会成本为依据。景电灌区生态移民对祁连山植被恢复的生态服务价值为4.01×10^9元,灌区绿洲对消减灌区下风向沙尘暴的生态服务价值为7.09×10^7元。祁连山生态移民的机会成本和灌区下风向防风固沙的机会成本分别为2.05×10^8元和3.63×10^6元。景电灌区生态移民对祁连山植被恢复的受益主体是石羊河流域各县市和祁连山东端黄河流域的景泰县,国家也是受益主体;受偿主体是甘肃省和甘肃省景泰川电力提灌管理局。

沙尘暴沙尘的漂浮距离很远,本文以上风向绿洲防风固沙的生态服务价值为基础,以距离余弦公式计算了灌区绿洲对下风向地区防风固沙的生态服务价值。沙尘暴和浮尘的漂浮边界模糊,如何确定绿洲对下风向地区防风固沙的区域边界,是其生态补偿中有待进一步探索的问题。

沙漠地区电力提灌工程的外部效益十分显著。防治沙漠化及沙尘暴和保护国家生态公益林是我国生态环境建设的重点。通过生态补偿,不仅保证了现有工程正常运营,而且还有利于带动和促进相同或类似的生态公益事业发展,有力推进国家生态环境建设。

参考文献(References):

[1] 马超.生态文明视角下开展水生态补偿的若干问题思考[J].

水利发展研究,2014,14(3):7－9,12.〔Ma Chao. Thinking on some issues to carry out water ecological compensation in the perspective of ecological civilization〔J〕. Water Resources Development Research,2014,14(3):7－9,12.〕

〔2〕 李国正. 建立滦河流域跨津冀水生态补偿机制的对策建议〔J〕. 水利发展研究,2015,15(8):71－74.〔Li Guozheng. Countermeasures and suggestions of mechanism of water ecological compensation to establish Luanhe River Basin across Tianjin and Hebei〔J〕. Water Resources Development Research,2015,15(8):71－74.〕

〔3〕 杨光梅,闵庆文,李文华,等. 我国生态补偿中的科学问题〔J〕. 生态学报,2007,27(10):4 289－4 300.〔Yang Guangmei,Min Qingwen,Li Wenhua,et at. Scientific issues of ecological compensation research in China〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2007,27(10):4 289－4 300.〕

〔4〕 Pagiola S,Agostin A,Platais G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America〔J〕. World Development,2004,33(2):237－ 253.

〔5〕 Danièle Perrot-Maitre,Patsy Davis. Case Studies of Markets and Innovative Financial Mechanisms for Water Services from Forests〔R〕. Washington D C:Forestry Trends,2001.

〔6〕 Wu J,Skelton-Groth K. Targeting conservation efforts in the presence of threshold effects and ecosystem linkages〔J〕. Ecological Economics,2002,42:313－331.

〔7〕 Mccarthy S,Matthews A,Riordan B. Economic determinants of private afforestation in the Republic of Ireland〔J〕. Land Use Policy,2003,20:51－59.

〔8〕 张宁. 德国生态账户制度对我国生态文明建设的启示〔J〕. 国土资源,2016(10):56－57.〔Zhang Ning. Enlightenment on the construction of ecological civilization in our country from the ecological account system of Germany〔J〕. Land & Resources,2016(10):56－57.〕

〔9〕 秦艳红,康慕谊. 国内外生态补偿现状及其完善措施〔J〕. 自然资源学报,2007,22(4):557－567.〔Qin Yanhong,Kang Muyi. A review of ecological compensation and its improvement measures〔J〕. Journal of Natural Resources,2007,22(4):557－567.〕

〔10〕 国家发改委. 生态补偿条例(草案)〔EB/OL〕. http://www.doc88.com/p－2743099946143.html,2010－11－1.〔National Development and Reform Commission. Ecological Compensation Ordinance (Draft)〔EB/OL〕. http://www.doc88.com/p－2743099946143.html,2010－11－1.〕

〔11〕 王军生,鹿明雷,邹东哲. 我国西部生态补偿机制的探讨〔J〕. 黄河科技大学学报,2015,17(6):70－72.〔Wang Junsheng,Lu Minglei,Zou Dongzhe. Exploration on ecological compensation system in Western China〔J〕. Journal of Huanghe S & T University,2015,17(6):70－72.〕

〔12〕 Costanza R,d' Arge R,De Groot R,et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital〔J〕. Nature,1997,387(6 630):253－260.

〔13〕 王女杰,刘建,吴大千,等. 基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例〔J〕. 生态学报,2010,30(23):6 646－6 653.〔Wang Nüjie,Liu Jian,Wu Daqian,et at. Regional eco-compensation based on ecosystem service assessment:A case study of Shandong Province〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2010,30(23):6 646－6 653.〕

〔14〕 张乐勤. 多种估算方法下小流域生态补偿标准探析——以安徽秋浦河为例〔J〕. 东北林业大学学报,2011,30(10):124.〔Zhang Leqin. Eco-compensation standard for small watershed by various evaluation methods:A case study of Qiupu Riverin Anhui Province〔J〕. Journal Northeast Forestry University,2011,30(10):124.〕

〔15〕 李平,孙小龙,张江丽,等. 草原生态补奖政策问题与建议〔J〕. 中国草地学报,2017,39(1):1－6.〔Li Pin,Sun Xiaolong,Zhang Jiangli,et al. Problems and suggestions on the grassland eco-compensation policy〔J〕. Chinese Journal of Grassland,2017,39(1):1－6.〕

〔16〕 王敏,肖建红,于庆东,等. 水库大坝建设生态补偿标准研究——以三峡工程为例〔J〕. 自然资源学报,2015,30(1):37－49.〔Wang Min,Xiao Jianhong,Yu Qingdong,et al. Research of eco-compensation standard of reservoir dam construction:A case of the Three Gorges Project〔J〕. Journal of Natural Resources,2015,30(1):37－49.〕

〔17〕 王新年,沈大军. 基于讨价还价模型的跨省水源地保护生态补偿标准研究——以于桥水库为例〔J〕. 南水北调与水利科技,2017,15(6):88－95.〔Wang Xinnian,Shen Dajun. Research on eco-compensation standards of interprovincial water source protection based on bargaining model:A case study of Yuqiao Reservoir〔J〕. Southto-North Water Transfers and Water Science & Technology,2017,15(6):88－95.〕

〔18〕 魏晓燕,毛旭锋,刘小君,等. 三江源区藏族移民的生态补偿研究——基于生命周期视角下的生态足迹方法〔J〕. 林业经济问题,2016,36(3):227－232.〔Wei Xiaoyan,Mao Xufeng,Liu Xiaojun,et al. Compensation standard and suitable number of tibetan immigration in Three River Source Region:An ecological-footprint and life-cycle-based method〔J〕. Issues of Forestry Economics,2016,36(3):227－232.〕

〔19〕 齐力. 政府与农户博弈视角下退耕还湿生态补偿研究——以黑龙江三江湿地自然保护区为例〔J〕. 求索,2016(8):98－103.〔Qi Li. Study of ecological compensation of returning farmland to wetland is from the perspective of game theory with government and farmers:A case study of the Sanjiang Wetland Nature Reserve in Heilongjiang〔J〕. Seeker,2016(8):98－103.〕

〔20〕 温薇,田国双. 博弈视角下黑龙江省生态功能区跨区域生态补偿协调路径研究〔J〕. 林业经济,2017(2):16－20.〔Wen Wei,Tian Guoshuang. Research on the inter-regional ecological compensation coordination path of ecological function region in Heilongjiang Province from the Perspective of the Game Theory〔J〕. Forestry Economics,2017(2):16－20.〕

〔21〕 杨国胜,黄介生,李建,等. 基于 SWAT 模型的绿水管理生态补

偿标准研究[J]. 水利学报,2016,47(6):809 - 815.[Yang Guosheng,Huang Jieshen,Li Jian,et al. Study on ecological compensation standard of green water management based on SWAT model[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2016,47(6):809 - 815.]

[22] 肖建红,王敏,于庆东,等. 海岛型旅游目的地生态补偿标准方法体系的构建与应用[J]. 生态学报,2016,36(2):448 - 462.[Xiao Jianhong,Wang Min,Yu Qingdong,et al. Research on ecological compensation standards for island tourist destinations:The construction and application of methodology[J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(2):448 - 462.]

[23] 丰晓萌. 对政府主导跨流域调水生态补偿的思考[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版),2016,32(5):90 - 93.[Feng Xiaomeng. Ecological compensation of government-led inter-basin water transfer[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Social Science Edition),2016,32(5):90 - 93.]

[24] 程滨,田仁生,董战峰. 我国流域生态补偿标准实践:模式与评价[J]. 生态经济,2012,28(4):24 - 29.[Cheng Bin,Tian Rensheng,Dong Zhanfeng. Patterns and assessment of the watershed eco-compensation standard practices in China[J]. Ecological Economy,2012,28(4):24 - 29.]

[25] 张沛,陈超群,徐海量,等. 塔里木河"九源一干"可承载最大灌溉面积探讨[J]. 干旱区研究,2017,34(1):223 - 231.[Zhang Pei,Chen Chaoqun,Xu Hailiang,et al. The bearable largest irrigation area in the basins of nine source streams and mainstream of the Tarim River[J]. Arid Zone Research,2017,34(1):223 - 231.]

[26] 尹晶晶,杨德刚,夏富强. 国际河流水资源开发模式对新疆伊犁河流域的启示[J]. 干旱区研究,2013,30(6):958 - 964.[Yin Jingjing,Yang Degang,Xia Fuqiang. Revelation of exploitation pattern of water resources in international river basin for the Ili River Basin in Xinjiang[J]. Arid Zone Research,2013,30(6):958 - 964.]

[27] 杜丽娟,王秀茹,刘钰. 水土保持生态补偿标准的计算[J]. 水利学报,2010,41(22):1 346 - 1 352.[Du Lijuan,Wang Xiuru,Liu Yu. Ecological compensate standard accounting of soil and water conservation[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2010,41(22):1 346 - 1 352.]

[28] 侯红雨,王洪梅,肖素君. 黄河流域灌溉发展规划分析[J]. 人民黄河,2013,35(10):96 - 98.[Hou Hongyu,Wang Hongmei,Xiao Sujun. Analysis of the Yellow River irrigation development planning[J]. Yellow River,2013,35(10):96 - 98.]

[29] 贾德治,万国成. 大型电力提灌工程所面临的困境及出路[J]. 中国农村水利水电,2006(4):21 - 22.[Jia Dezhi,Wan Guocheng. Dilemma and way out are faced for large power irrigation projects[J]. China Rural Water and Hydropower,2006(4):21 - 22.]

[30] 辛红,刘尊黎,朱志方. 引黄灌区灌溉面积萎缩成因及对策研究[C]//尚宏琦,骆向新. 黄河国际论坛文集. 北京:黄河水利出版社,2007:263 - 268.[Xin Hong,Liu Zunli,Zhu Zhifang. Causes and countermeasures of irrigation area shrinking of irrigation area[C]//Shang Hongqi,Luo Xiangxin. Yellow River International Forum. Beijing:Yellow River Water Conservancy Press,2007:263 - 268.]

[31] 赵亚萍. 高扬程电力提灌电价补贴及灌区发展的思路[J]. 价值工程,2013(28):328.[Zhao Yaping. High lift pumping feed-in tariff and irrigation area development ideas[J]. Value Engineering,2013(28):328.]

[32] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189 - 196.[Xie Gaodi,Lu Chunxia,Leng Yunfa,et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal Natural Resources,2003,18(2):189 - 196.]

[33] 赵建林,董志洋,康德奎,等. 景泰川电力提灌工程的生态服务价值研究[J]. 生态经济,2018,34(7):167 - 173.[Zhao Jianlin,Dong Zhiyang,Kang Dekui,et al. Evaluation of ecosystem services value of Jingtaichuan electric power irrigation engineering[J]. Ecological Economy,2018,34(7):167 - 173.]

[34] 常兆丰,赵明. 民勤荒漠生态研究[M]. 兰州:甘肃科技出版社,2006.[Chang Zhaofeng,Zhao Ming. Study on Desert Ecology Minqin[M]. Lanzhou:Gansu Science and Technology Press,2006.]

[35] Hanley N,Kirkpatrick H,Simpson I,et al. Principles for the provision of public goods from agriculture:Modeling moorland conservation in Scotland[J]. Land Economics,1995,74(1):102 - 113.

[36] Arnalds O,Barkarson B H. Soil erosion and land use policy in Iceland in relation to sheep grazing and government subsidies[J]. Environmental Science & Policy,2003,6:105 - 113.

[37] Dudley R G. A generic look at payments for environmental services:Plan or scaml[R]. The 23rd International System Dynamics Conference,Boston,USA,2005.

[38] 新华通讯社. 景电工程打造多重效益的生态屏障[EB/OL]. http://www.gs.xinhuanet.com/news/2017 - 11/20/c_1121980772.htm,2017 - 11 - 20.[Xinhua News Agency. The ecological barrier with multiple benefits is built by Jingtaichuan electric lift irrigation project[EB/OL]. http://www.gs.xinhuanet.com/news/2017 - 11/20/c_1121980772.htm,2017 - 11 - 20.]

Ecological Compensation of A Desert Water-Lifting Irrigation Project Based on Opportunity Cost of Ecosystem Service Value: A Case Study on Jingtaichuan Water-Lifting Irrigation Project

ZHAO Jian-lin[1], DONG Zhi-yang[1], CHANG Zhao-feng[2]

(1. *Administration of Jingtaichuan Water-lifting Irrigation Project*, *Jingtai* 730499, *Gansu*, *China*;

2. *Gansu Desert Control Research Institute*, *Lanzhou* 730070, *Gansu*, *China*)

Abstract: In this paper, the ecological compensation of a desert water-lifting irrigation project was discussed, the ecological service values of vegetation increased by emigration from the Qilian Mountains to the Jingdian Irrigated Area were calculated by factor equivalence, the ecological service values by reducing sandstorm in the leeward area were estimated using cosine distance formula, and the opportunity cost was also calculated. The results showed that: ① Ecological compensation should be based on the opportunity cost of the external ecosystem service value. The ecological service value of the Jingdian Irrigated Area from the Qilian Mountains ecological migration to vegetation regeneration of the Qilian Mountains is 4.01×10^9 yuan RMB, and the ecosystem service value by reducing sandstorm in the leeward area is 7.09×10^7 yuan. Opportunity cost of the ecological migration is 2.05×10^8 yuan, and the opportunity cost of controlling sandstorm in the leeward area is 3.63×10^6 yuan; ② The main beneficiaries of vegetation regeneration by ecological migration from the Qilian Mountains to the irrigated areas are the counties in the Shiyang River Basin and Jingtai County in the eastern Qilian Mountains in the Yellow River Basin. The state is also one of the beneficiaries. Subjects of the compensation are Gansu Province and Administration of Jingtaichuan Water-lifting Irrigation Project; ③ The prevention and control of desertification and sandstorm and the protection of national ecological forest are the emphases of ecological environment construction in China. Ecological compensation is conducive to driving and promoting the development of similar public welfare undertakings, and vigorously promoting the national ecological environment construction.

Key words: desert water-lifting irrigation project; ecosystem service value; ecological migration; windbreak; sand fixation; ecological compensation; Jingtai County; Gansu